

روشی آسان برای کاهش زبری سطحی در قلع اکسید آلیاژ شده با فلور (FTO) بوسیله سایش با نانوذرات موجود در خمیر دندان و کاربرد آن در دیودهای نورگسیل هیبریدی

مازیار مرندی

دانشگاه اراک

حسن اله داغی، اعظم ایرجی زاد و نیما تقوی نیا

دانشگاه فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف

(دریافت مقاله : ۹۳/۰۳/۲۱ - پذیرش مقاله : ۹۳/۱۲/۰۲)

چکیده

در این مقاله روشی سریع و بهینه برای کاهش زبری سطحی قلع اکسید آلیاژ شده با فلور (FTO) با استفاده از نانوذرات موجود در خمیر دندان ارایه شده است. پایداری فیزیکی و شیمیایی بالای FTO نسبت به دیگر رساناهای شفاف اکسیدی (TCO) همانند ایندیوم قلع اکسید (ITO) باعث می شود که از آن‌ها در قطعات الکترواپتیکی استفاده شود. اما به دلیل بالا بودن ضخامت آن نسبت به ITO و شرایط ساخت آن معمولاً زبری زیادتری نسبت به ITO دارد. خمیر دندان با توجه به ذرات ساینده‌ای که درون آن وجود دارد باعث سایش جرم‌های روی دندان بصورت نانومتری می شود که با استفاده از همین اصل، در اینجا نیز سطح FTO صاف شد. نتایج میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) نشان داد که ریشه میانگین مربع (RMS) زبری سطح از ۱۲nm برای FTO به ۳nm برای FTO ساییده شده کاهش پیدا کرد. طیف‌سنجی فتوالکترون اشعه ایکس (XPS) نیز انجام شد که حاکی از عدم تفاوت بین دو سطح قبل و بعد از عملیات بود. با استفاده از FTOهای سایش داده شده دیود نورگسیل (LED) هیبریدی ساخته شد که در مقایسه با نمونه غیر ساییده شده و ITO از بازده بیشتری برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: زبری سطحی، FTO، نانوذرات، دیود نورگسیل هیبریدی.

A facile method to decrease surface roughness of fluorine doped tin oxide using nanoparticles in toothpaste and its application in hybrid light emitting diode

H. Alehdaghi, A. Irajizad and N. Taghavi nia

Department of physics, Sharif University of Technology

(Received 11 June 2014, accepted 21 February 2015)

M. Marandi

Arak University

Abstract

In this report a facile and optimized method for polishing of fluorine doped tin oxide (FTO) was presented in which nanoparticles in toothpaste was used as polishing material. Due to being more chemically and physically stability relative to another TCO such as indium tin oxide (ITO), FTO is used in optoelectronic devices. More thickness in FTO due to have a good conductivity resulting a rough surface. Toothpaste can make smooth FTO surface due to have polisher nanoparticles. Here, FTO surface was smooth using toothpaste so that according to AFM data, the RMS surface roughness was changed from 12 nm for FTO to 3 nm for FTO after polishing. The comparing of the transmittance spectra FTO before and after polishing process showed the FTO thickness was not changed dramatically. The X-Ray photoelectron spectroscopy showed there were no effects on the chemical states of FTO surface before and after polishing process. The hybrid light emitting diode was fabricated using polished FTO that it was more efficient comparing to those fabricated with FTO and ITO.

Keywords: Surface roughness, FTO, nanoparticles, hybrid light emitting diode.

E-mail of corresponding author: hasan.aldaghi@gmail.com.

مقدمه

استفاده روز افزون از ادوات الکترواپتیکی باعث شده است که برای تجاری سازی روش‌هایی مطلوب باشد که هزینه تولید آن‌ها تا حد امکان پایین باشد. از آنجایی که در این‌گونه ادوات با نور و جریان الکتریکی سر و کار داریم، معمولاً نیاز به یک رسانای شفاف، نیاز اساسی محسوب می‌شود [۴-۱]. گروه غالب این دسته از مواد، رساناهای شفاف اکسیدی (TCO) است که ایندیم قلع اکسید (ITO) جزء معروف‌ترین آن‌ها محسوب می‌شود [۵ و ۶]. متأسفانه محدودیت شدید منابع ایندیم باعث گران شدن ساخت این لایه می‌شود. از طرف دیگر بعضی از گزارشات حاکی از عدم پایدار بودن ITO در محیط‌های نسبتاً اسیدی است [۸-۷]. TCO های جایگزینی دیگری از قبیل قلع اکسید آلاییده شده با فلور (FTO) و آلومنیوم روی اکساید (AZO) وجود دارد که در ادوات الکترواپتیکی استفاده می‌شود. FTO گزینه مناسبی برای بکارگیری به عنوان TCO محسوب می‌شود. این ماده قادر به تحمل دمایی تا 500°C (برروی زیر لایه شیشه) است که این خود برای بکارگیری از روش‌های شیمیایی و پخت تا دمای 500°C بسیار مناسب است [۹-۱۱]. تنها مشکل FTO زمانی آشکار می‌شود که نیاز شود در ادواتی به کار رود که زبری سطح برای آن مهم است. معمولاً برای داشتن رسانندگی الکتریکی مناسب ($15 \Omega/\square$) ضخامت FTO در حدود 500 nm در نظر گرفته می‌شود در صورتی که با این مشخصه برای ITO حدود 100 nm ضخامت کفایت می‌کند [۱۲]. معمولاً ضخامت زیاد منجر به زبری سطحی می‌شود و این یعنی افزایش اختلاف بیشینه قله تا دره برای ناهمواری‌های سطحی که در نهایت ممکن است از کارآیی سیستم بکاهد. حال اگر بتوان زبری سطحی FTO را کاهش داد می‌توان از آن در ادوات الکترواپتیکی که به زبری سطح نیز وابسته است استفاده کرد [۱۳].

روش‌هایی مختلفی برای تغییر زبری سطح وجود دارد از قبیل؛ سایش بوسیله مواد ساینده [۱۴ و ۱۵]، اسپاترینگ آرگون، استفاده از مواد خورنده و گاهی هم ازن-ماورای بنفش [۱۶]. در این تحقیق زبری سطح FTO با استفاده از مواد ساینده کاهش داده شد. از خمیر دندان به عنوان ماده ساینده استفاده شد. در خمیردندان وجود یک‌سری از مواد ساینده از قبیل سیلیکا و تیتانیوم دی اکسید باعث از بین رفتن جرم‌های گرفته شده بر روی دندان‌ها می‌شود [۱۷] و [۱۸]. در اینجا نیز با استفاده از همین اصل ما به سایش سطوح FTO پرداخته شد. با مقایسه کارکرد LEDهای ساخته با FTOهای سایش داده شده با نشده و ITO به اثر زبری FTO بررسی شد.

مواد و روش آزمایش‌ها

شیشه لایه‌نشانی شده با FTO از شرکت سولارونیکس (Solaronix) با مقاومت $15 \Omega/\square$ خریداری شد. این نوع شیشه‌های رسانا بصورت گسترده در ادوات اپتیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹ و ۱۹]. بعد از برش این شیشه‌ها به ابعاد $1/2 \text{ cm} \times 1/2 \text{ cm}$ لبه‌های تیز آن توسط فرز گرفته شد. این کار تا حد زیادی از پاره شدن نمد سایش‌دهنده جلوگیری می‌کند. با این وجود باز هم پارگی نمد وجود دارد، از این رو در این کار نمدی ارزانتر از نمدهای مرسوم در متالورژی استفاده شد. از دستمال‌های گردگیری تجاری مورفیکس به عنوان نمد ساینده گزینه‌ای بود که برای این کار انتخاب شد. خمیر دندان پونه ۳ ساخت شرکت پاکسان به عنوان ماده پولیش دهنده داخل پیست ریخته و به مدت یک ساعت بر روی هم‌زن مغناطیسی قرار داده شد. بعد از آن‌که، آن حالت دوغ‌آب ماندی به خود گرفت در حین سایش بصورت مداوم در بین نمونه و نمد ساینده ریخته شد. بر طبق شرایط بهینه که زمان پولیش ۱۰ دقیقه در نظر گرفته و در طول این مدت دو مرتبه سطح نمد به‌طور کامل با خمیر دندان پوشیده می‌شود. این کار باعث بهتر شدن عملیات سایشی

توسط یک فتودیود کالیبره به یک پیکوآمپر متر (Pulmsense) جفت شده بود.

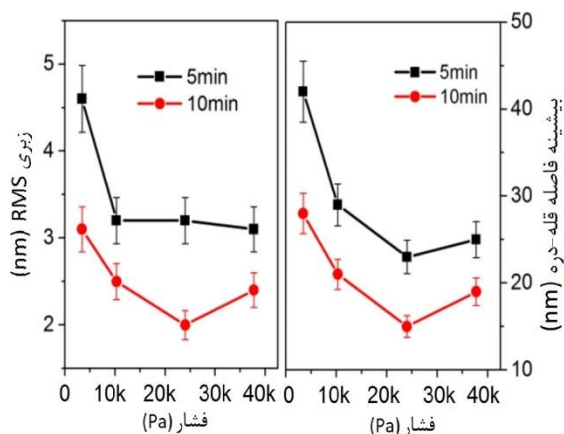
نتایج

در شکل ۱ زبری سطحی ریشه میانگین مربع (RMS) بر حسب زمان برای نمونه‌های مختلف نشان داده شده است. زبری سطحی لایه FTO (که در داده زمان صفر به آن مربوط می‌شود) حدود ۱۲ نانومتر است که با سپری شدن زمان عملیات سایشی مقدار آن کاهش پیدا می‌کند. نقاط مربعی سیاه و قرمز، بکارگیری خمیردندان و نم‌مورفیکس در دو سرعت زاویه‌ای ۲۰۰ rpm و ۴۰۰ rpm را بر حسب زمان نشان می‌دهد که با دو حالت بکارگیری خمیردندان با نم‌استاندارد، ساخت شرکت بوهرلر آلمان، (نقاط مثلثی سبز) و بکارگیری ذرات ۴۰ نانومتری آلومینا با این نم‌د (نقاط مثلثی واژگون آبی) مقایسه می‌شود. از بین دو حالت بکارگیری خمیردندان با نم‌مورفیکس با سرعت زاویه‌ای مختلف، بعد از زمان ۱۰ دقیقه، زبری سطحی به حدود ۵ و ۳ نانومتر به ترتیب برای ۲۰۰ rpm و ۴۰۰ rpm می‌رسد که این اختلاف با توجه به سرعت بیشتر بدیهی به نظر می‌رسد. در مورد نمونه‌هایی که با ذرات آلومینا و نم‌استاندارد ساییده شده‌اند نیز بعد از ۱۰ دقیقه زبری سطح به حدود ۳ nm می‌رسد. در شکل ۱ بخوبی نشان داده شده است که استفاده از نم‌مورفیکس بجای نم‌های مرسوم و خمیردندان بجای ذرات آلومینای ۴۰ nm بعد از ۱۰ دقیقه، گزینه مناسبی برای سایش FTO بر روی شیشه است. این امر سبب می‌شود که از نم‌د و پودرهای گران قیمت برای سایش استفاده نشود بدلیل اینکه شیشه باعث پارگی سریع نم‌د و منجر به تعویض سریع آن می‌شود. همان‌طور در ادامه دیده می‌شود اندازه ذرات موجود در خمیر دندان به دلیل کوچک بودن نسبت به ذرات آلومینا گزینه بهتری برای رسیدن به زبری‌های نانومتری باشند.

می‌شود. در این کار از دستگاه ساینده با قابلیت تنظیم سرعت زاویه‌ای به عنوان چرخنده استفاده شد. سرعت این دستگاه نیز به عنوان پارامتری است که در فرآیند سایش تاثیرگذار است. بیشترین سرعتی که در این کار مورد بررسی قرار گرفت ۴۰۰ rpm بود زیرا سرعت بالاتر به علت مشکلات تکنیکی باعث عدم تکرار پذیری و مصرف بیش از حد مواد می‌شد.

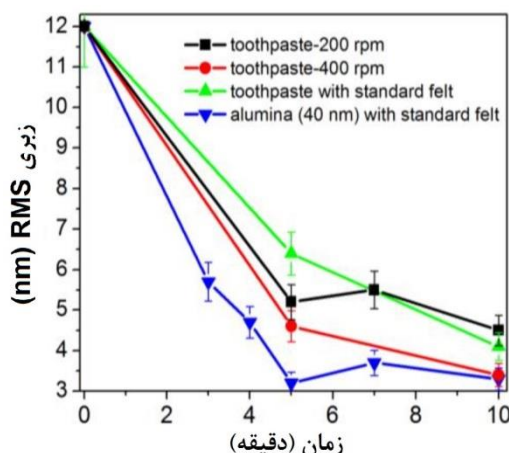
بعد از فرآیند سایش، نمونه‌های ساییده شده و نشده در شرایط یکسانی تحت شستشو قرار گرفته شدند. ابتدا به مدت ۱۰ ثانیه بوسیله پروب دستگاه التراسونیک با توان ۵۰۰W در آب دوبار یونیزه شده (DI) تحت ارتعاش شدید قرار گرفتند. این کار برای کنده شدن هرگونه ذره‌ای از سطح FTO ضروری است. بعد از آن نمونه‌ها با شوینده‌های معمولی، استون، اتانول و آب DI شسته شدند. در نهایت برای کمینه کردن هر نوع آلودگی هیدروکربنی لایه‌ها درون کوره به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۵۰۰°C قرار داده شدند. بعد از تمیز شدن، نمونه‌ها برای آنالیز میکروسکوپ الکترونی (SEM) (Tescan, Vega) (II)، میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)، طیف‌سنج نوری عبوری Uv-Vis (PerkinElmer) و طیف‌سنجی فتوالکترون اشعه ایکس (XPS) آماده شدند.

برای ساخت LED، ۲۰ nm روی اکسید (ZnO) توسط لایه نشانی اسپری پیرولیز روی دو زیر لایه FTO و FTO-p (ساییده شده) تمیز شده، لایه‌نشانی شد [۴]. به منظور افزایش بلورینگی لایه ZnO، نمونه‌ها به مدت ۸ ساعت در دمای ۵۰۰°C درون کوره قرار داده شدند. بعد از آن لایه فعال نورتاب به ضخامت ۸۰ nm بوسیله لایه نشانی چرخشی نشانده شد. نمونه‌ها به درون محفظه خلا در فشار پایه 10^{-5} torr برده شدند و به ترتیب ضخامت ۲۵، ۶۰ و ۱۰۰ نانومتر مولیبدن اکساید (MoO_3)، طلا (Au) و نقره (Ag) بوسیله تبخیر حرارتی نشانده شد. مشخصه‌یابی جریان-ولتاژ-نورتابی (I-V-L) توسط دستگاه Keithley 2400- source meter انجام شد که



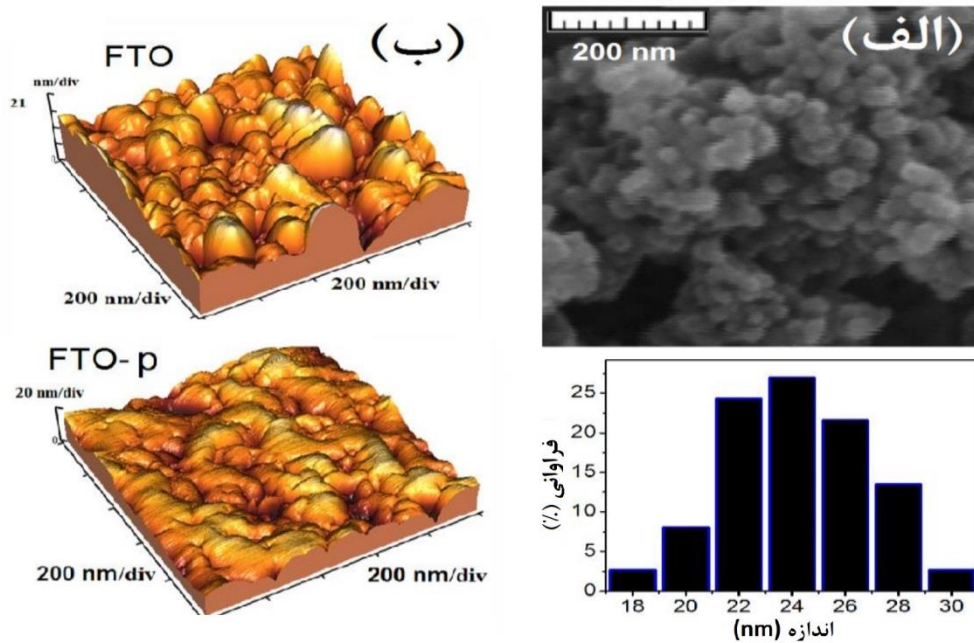
شکل ۲. زبری سطحی RMS (سمت چپ) و بیشینه اختلاف ارتفاع قله-عمق دره بر روی سطح نمونه‌ها (سمت راست) در دو زمان ۵ و ۱۰ دقیقه بر حسب فشارهای مختلف.

۲۴۰۰۰ پاسکال به مقدار کمینه خود (۲۳ nm) خود می‌رسد. به منظور آماده‌سازی سطوح برای آنالیز SEM و حذف مواد اضافی موجود در خمیردندان مقداری از خمیر دندان روی تکه‌ای از ورق فلزی قرار داده شد و به مدت نیم ساعت در دمای 500°C درون کره قرار گرفت. در شکل ۳ قسمت (الف) نمودار توزیع ذرات موجود در خمیردندان دیده می‌شود که اندازه‌ای در حدود ۲۴ nm را SEM استخراج شده است که در قسمت (الف) این شکل دیده می‌شود. معمولاً برای رسیدن به سطحی صاف این چنین اندازه‌ای برای ذرات ساینده ضروری محسوب می‌شود. بر طبق اطلاعات شرکت سازنده خمیر دندان این ذرات شامل سیلیکا است. در قسمت (ب) عکس ۳ بعدی شبیه سازی شده از آنالیز سطحی AFM در حالت غیر تماسی نمایش داده شده است. قسمت بالا مربوط به سطح FTO قبل از عملیات سایشی و در قسمت پایین مربوط به سطح FTO بعد از سایش است. این شکل به وضوح نشان می‌دهد که عملیات سایشی چگونه باعث کم کردن زبری سطحی شده است. هر قسمت روی تقسیم‌بندی‌های عمودی حدود ۲۰ nm و روی طول و عرض ۲۰۰ nm است.

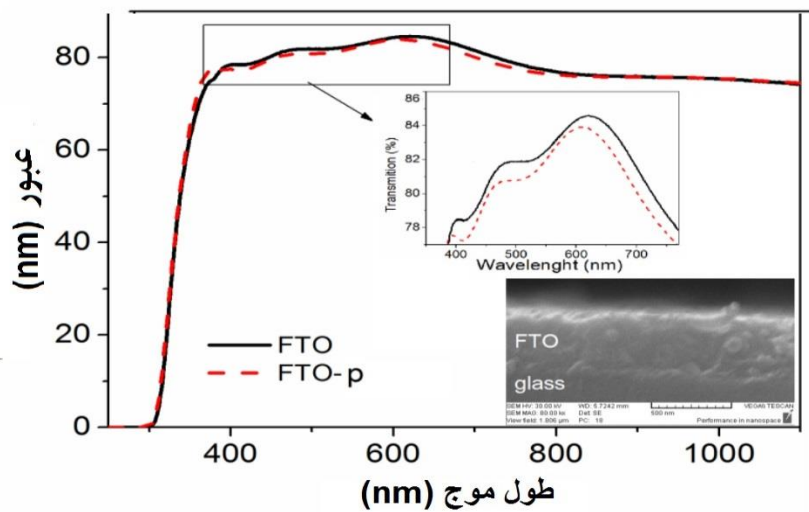


شکل ۱. زبری سطح RMS بر حسب زمان برای سایش نمونه‌های مختلف بر حسب زمان.

بعد از انتخاب نمد و خمیردندان به عنوان ماده سایش‌دهنده، به منظور بهینه کردن عملیات سایشی نیروی وارده بر سطح نمونه (فشار) بهینه شد. شکل ۲ مشخصات سطحی نمونه‌ها را که از داده‌های AFM استخراج شده است، بر حسب فشارهای مختلف در دو زمان مختلف ۵ و ۱۰ دقیقه را نشان می‌دهد. در قسمت سمت چپ زبری سطح RMS نشان داده شده است که برای فشار حدود ۲۴۰۰۰ پاسکال (حدود ۳۵۰ گرم بر روی سطح برش داده شده) به حد کمینه خود یعنی ۲ nm (پس از ۱۰ دقیقه) می‌رسد. نمونه‌هایی که ۱۰ دقیقه تحت عملیات قرار می‌گیرند در فشارهای بالاتر از ۲۴۰۰۰ پاسکال زبری سطحی آن‌ها نسبت به فشار ۲۴۰۰۰ پاسکالی بدتر می‌شود که می‌توان به تغییر حالت نمد و یا خارج شدن ذرات ساینده از زیر آن نسبت داد. در قسمت سمت راست، بیشینه اختلاف ارتفاع قله-عمق دره (R_{pv}) در سطح نمونه‌ها بر حسب فشار در دو زمان ۵ و ۱۰ دقیقه نشان داده شده است. R_{pv} برای FTO قبل از عملیات سایشی حدود ۸۰ nm است که در بهترین حالت برای فشار ۲۴۰۰۰ پاسکال بعد از ۱۰ دقیقه به حدود ۱۵ nm می‌رسد. رفتاری مشابه در نمونه‌های تحت عملیات در ۵ دقیقه نیز قابل مشاهده است که در اینجا نیز در فشار



شکل ۳. تصویر SEM و توزیع اندازه نانوذرات بر حسب اندازه آن‌ها (الف)، تصویر ۳ بعدی شبیه سازی شده بر اساس داده های AFM.

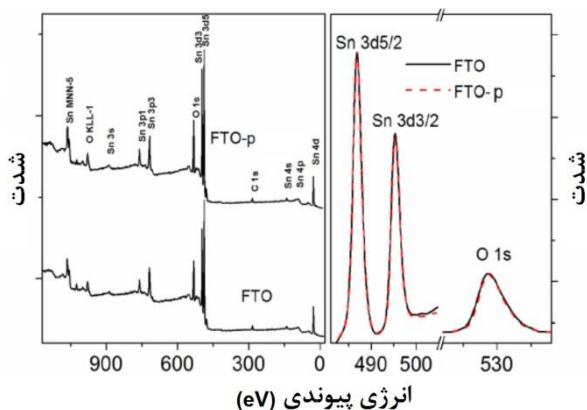


شکل ۴. طیف های عبور FTO قبل (نمودار سیاه ممتد) و بعد (نمودار قرمز منقطع) از عملیات سایش. در پنجره ی کوچک داخل تصویر قسمت مشخص شده با تصویر بزرگ شده است. گوشه سمت راست، تصویر سطح مقطع SEM روی شیشه است.

طیف عبور نشان از شفاف بودن این رسانه دسته از رسانه‌ها است. بعد از عملیات سایشی تغییر عمده‌ای در عبور لایه FTO بوجود نمی‌آید. تنها تغییر جابجایی، کوچک در قله‌های موجود در طیف عبور است که در داخل شکل ۴ بصورت بزرگتر نمایش داده شده است. با

از آنجایی که یکی از مهم‌ترین اهداف استفاده FTO به علت شفاف بودن آن است مشخصات نوری لایه قبل و بعد از عملیات سایشی توسط مطالعه طیف عبور لایه‌ها بررسی شد که در شکل ۴ این دو طیف دیده می‌شود. شفافیت بیش از ۸۰٪ در محدوده‌ی طول موجی مرئی در

است که FTOها سایش داده شده بعد از شستشو کاملاً تمیز شده و آثاری از آلودگی‌های ناشی از مواد ساینده بر روی آن نیز دیده نمی‌شود. در قسمت سمت راست شکل ۵ پنجره‌های مربوط به عناصر Sn 3d که به دو قله Sn 3d5/2 و Sn 3d3/2 شکافته شده است (به علت اثر اسپین مدار) و O 1s به ترتیب در انرژی‌های ۴۸۷ eV، ۴۹۵/۴ eV و ۵۳۰ eV نمایش داده شده است [۲۲]. در اینجا نیز دو حالت قبل و بعد از عملیات سایشی نمایش داده شده است که هر دو نمودار روی یکدیگر قرار می‌گیرند. این یکسان بودن بیانگر این است که عملیات سایشی باعث هیچ‌گونه تغییر خاصی در پیوندها نمی‌شود که انتظار ما را از یک سایش ایده‌آل فراهم می‌سازد.



شکل ۵. نمودار کلی XPS برای دو نمونه FTO قبل (FTO) و بعد از عملیات سایشی (FTO-p) در سمت چپ و دو پنجره XPS برای O 1s و Sn 3d در سمت راست.

بعد از رسیدن به کاهش مناسب زبری سطحی و عدم تغییر دیگر مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی سطحی زیر لایه‌ها، دیود نور گسیل هیبریدی با ساختار نشان داده شده در شکل ۶ ساخته شد. در این ساختار FTO به عنوان کاتد که رسانای شفاف است به عنوان زیرلایه (روی شیشه) در دیود نقش ایفا می‌کند. لایه ZnO تزریق کننده الکترون در سیستم است که به روش اسپری پیرولیز لایه‌نشانی می‌شود. در این روش دمای صفحه داغ حدود

توجه به رابطه تقریبی که برای تعیین ضخامت‌های لایه‌های نازک بر اساس مشخصات نوری وجود دارد می‌توان تغییر ضخامت لایه FTO را با توجه به تغییر در جابجایی این قله‌ها بدست آورد. این رابطه در زیر آمده است:

$$\frac{n_1}{\lambda_1} - \frac{n_2}{\lambda_2} = \frac{1}{2d} \quad (1)$$

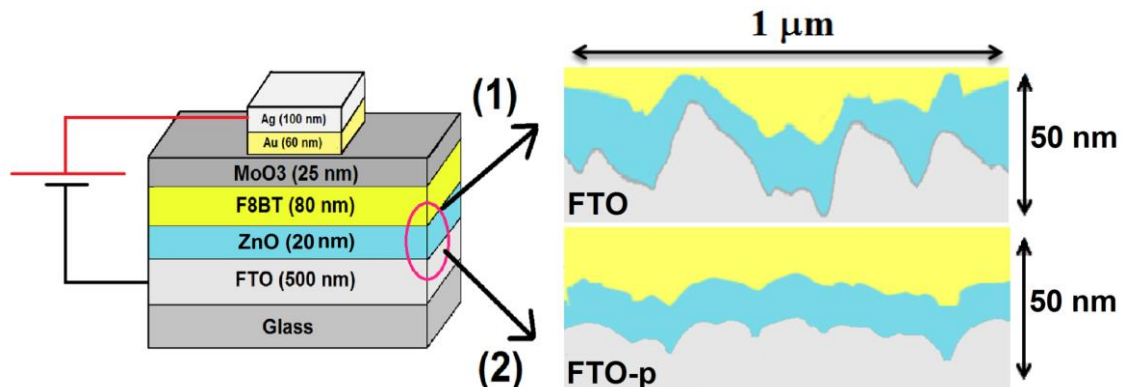
که در آن n_1 و λ_1 ضریب شکست و طول موج قله در طول موج بزرگتر n_2 و λ_2 ضریب شکست و طول موج قله با طول موج کوچکتر است [۲۰]. در این رابطه بجای دو قله پشت سرهم از دو دره پشت سرهم نیز می‌توان استفاده کرد. اگر تغییرات ضریب شکست در دو طول موج متفاوت در قله‌ها زیاد متفاوت نباشد می‌توان از ضریب شکست میانگین ماده در طول موج مرئی استفاده کرد. با در نظر گرفتن ضریب شکست حدود ۱/۹ برای FTO اختلاف ضخامت این دو لایه حدود ۲۰ nm بدست می‌آید [۲۱]. این اختلاف ضخامت این را نشان می‌دهد که عملیات سایش فقط باعث از بین رفتن قله‌ها و صاف کردن سطح شده است و از خود لایه تا حد ممکن برداشته نشده است. در شکل ۴ تصویر سطح مقطع FTO قبل از سایش روی شیشه نشان داده شده است که ضخامت حدودی ۵۰۰ nm را برای آن نشان می‌دهد.

به منظور بررسی احتمالی تغییر در پیوندهای شیمیایی سطحی آنالیز XPS انجام شد. در شکل ۵ نتایج مربوط آنالیز XPS برای دو نمونه قبل و بعد از عملیات سایشی رسم شده است. در قسمت سمت چپ شکل، نموداری مشاهده می‌شود که تمامی عناصر موجود روی سطح را از انرژی ۰ eV تا ۱۱۰۰ eV نمایش می‌دهد که به اصطلاح به این نمودار Survey گویند. در نمودار survey برای FTO قبل و بعد از سایش تفاوتی مشاهده نمی‌شود. عناصر موجود روی سطح عبارت است از قلع (Sn)، اکسیژن (O) و کربن (C) که معمولاً عنصر کربن به علت آلودگی‌های محیطی بر روی نمونه وجود دارد. نکته دیگری که از نمودار Survey می‌شود فهمید این

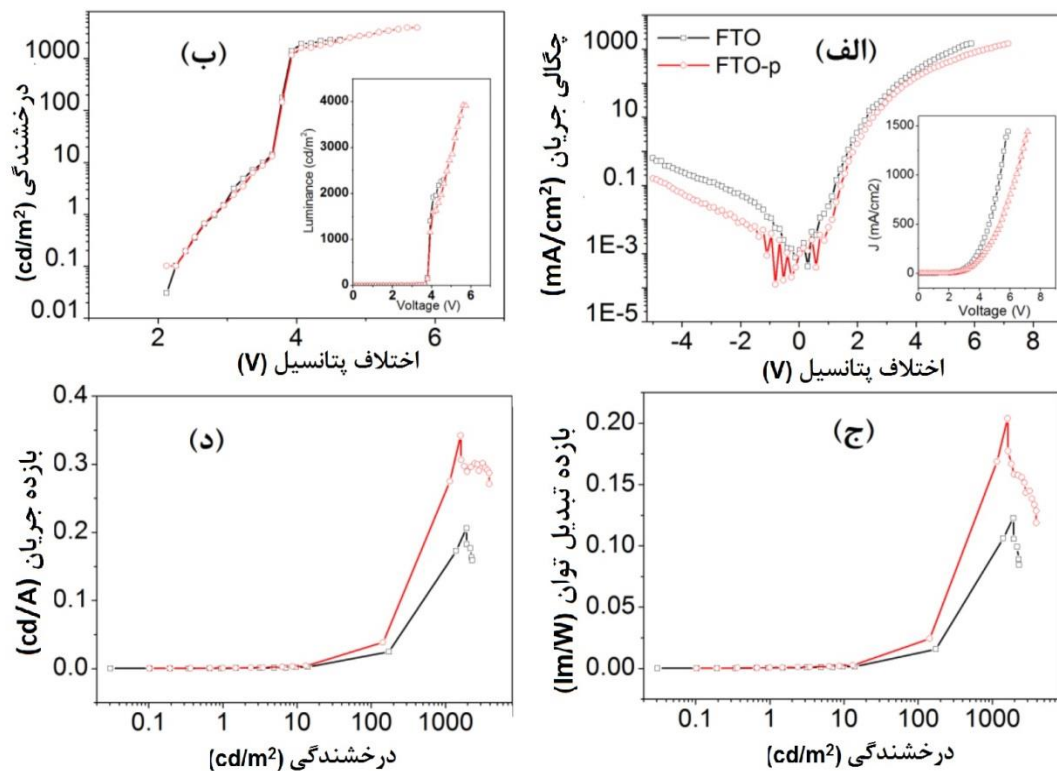
منفی جریان برای نمونه بدون سایش نسبت به نمونه سایش داده شده بیشتر است که این به دلیل نشت بیشتر جریان در این دیود نسبت داده می‌شود [۲۳]. در قسمت (ب) مشخصه ولتاژ-نورتابی نشان داده شده است. نکته قابل ملاحظه در اینجا کمتر بودن شدت نورتابی نمونه FTO است که می‌توان به زبری زیاد FTO نسبت داد. بنحوی که در ولتاژهای زیاد، جریان عبوری از نقاط نوک تیز سطح، باعث خرابی دیود می‌شود. در قسمت (ج) و (د) بازده جریان و تبدیل توان دیودها با هم مقایسه شده است. افزایش حدود دو برابری بازده در این دو شکل کاملاً مشهود است که بواسطه جلوگیری از نشت زیاد جریان در دیود ساخته شده با FTO-p بواسطه سایش مکانیکی سطح صورت گرفته است.

در شکل ۸ بازده تبدیل توان بر حسب شدت نورتابی برای دو LED ساخته شده با FTO-p و ITO مشاهده می‌شود. همانطور که مشخص است بازده مربوط به FTO-p حتی از LED ساخته شده با ITO نیز بالاتر است. در این ساختار دیود معرفی شده ITO به دلیل بزرگتر بودن تابع کارش گزینه مناسبی برای کاتد نیست. در داخل این شکل طیف الکترومینیانس این دسته از LEDها نشان داده شده است. رنگ مربوط به این LED در بین سبز و زرد است.

۳۵۰°C تنظیم می‌گردد که بعد از اتمام لایه‌نشانی، به منظور افزایش بلورینگی ZnO، نمونه‌ها حدود ۸ ساعت درون کوره در دمای ۵۰۰°C حرارت‌دهی می‌شوند. لایه فعال (نورتاب) توسط لایه‌نشانی چرخشی به ضخامت حدود ۸۰nm روی ZnO قرار می‌گیرد. در نهایت لایه تزریق کننده حفره (MoO₃) و آند (Au/Ag) بواسطه لایه‌نشانی تبخیری در فشار ۱۰^{-۵} torr لایه‌نشانی می‌شود. پیکان شماره ۱ دو سطح مشترک ZnO/FTO و ZnO/F8BT را نشان می‌دهد و پیکان شماره ۲ همین سطوح مشترک را برای دیودی نشان می‌دهد که با FTO-p ساخته شده است. اندازه‌های مشخص شده در این سطوح مشترک (سمت چپ شکل) بر اساس داده‌های AFM استخراج شده است. این شکل بخوبی مشاهده می‌شود که چگونه زبری زیاد باعث تغییر سطوح مشترک می‌شود. در قسمت نشان شده با پیکان شماره (۱) تیزی سطوح FTO در مقابل ضخامت لایه ZnO بخوبی مشهود است در صورتی که در FTO-p این تیزی‌ها تا حدود بسیار زیادی بر طرف شده است. شکل ۷ مشخصه یابی به عمل آمده از دو دیود ساخته شده با FTO و FTO-p را نشان می‌دهد. در قسمت (الف) مشخصه جریان ولتاژ دو دیود ساخته شده در دو نمایش خطی و نمایی نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است در ولتاژهای

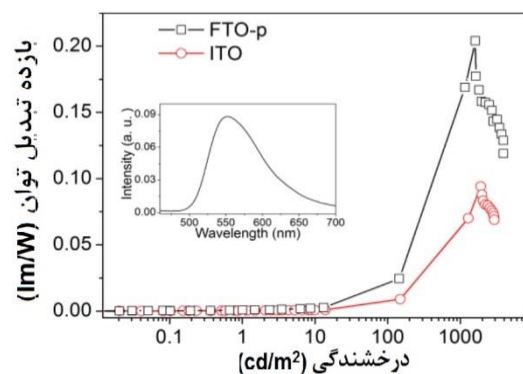


شکل ۶. شماتیکی از LED ساخته شده با زیرلایه ساییده نشده (FTO) و ساییده شده (FTO-p) که در قسمت سمت چپ یا دو پیکان شماره (۱) و (۲) نشان داده شده است. اندازه‌های مشخص شده در قسمت سمت چپ بر اساس داده‌های AFM است.



شکل ۷. مشخصه I-V-L برای دو LED ساخته شده با FTO (ساییده نشده) و FTO-p (ساییده شده)؛ جریان-ولتاژ (الف)، نورتابی-ولتاژ (ب) و در قسمت (ج) و (د) بازده تبدیل توان و جریان بر حسب نورتابی.

نتیجه آن زبری سطحی RMS به حدود ۴ برابر کاهش پیدا کرد. این روش سایش، به کمک خمیردندان به عنوان ماده ساینده، حاوی ذراتی با اندازه حدود ۲۴ نانومتر، منجر به کم کردن زبری سطح FTO شد. داده‌های بدست آمده از آنالیز XPS نیز مشخص کرد که پیوندهای شیمیایی سطحی در طول فرآیند سایش هیچ تغییری پیدا نکردند. این نتایج نشان داد که روش ارایه شده بخوبی و بدون تغییر در مشخصات فیزیکی و شیمیایی لایه می‌تواند زبری سطحی FTO را کاهش دهد. مقایسه دو LED ساخته شده با FTO سایش داده نشده و شده بخوبی نشان داد که نشت جریان از نقاط نوک تیز سطح، عاملی است که باعث کاهش کارایی دیود می‌شود. از طرفی دیگر بازده LED ساخته شده با FTO-p حتی از نمونه ساخته شده با ITO نیز بالاتر بود.



شکل ۸. مقایسه بازده تبدیل توان دو LED ساخته شده با FTO سایش داده شده و ITO، طیف الکترولومینسانس LED ساخته شده با F8BT (داخل شکل).

نتیجه‌گیری

در این تحقیق روشی ارایه شد که بوسیله آن سطح FTO بوسیله ذرات موجود در خمیردندان ساییده شد که در

- solar cells*, RSC Advances, 2 (2012) 12278-12285.
10. M. Samadpour, P. P. Boix, S. Gim, A. Irajizad, N. Taghavinia and J. Bisquert, *Fluorine treatment of TiO₂ for enhancing quantum dot sensitized solar cell performance*, Journal of physical Chemistry C, 115 (2011) 14400-14407.
 11. S. Greenwald, S. Ruhle, M. Shalom, S. Yahav, A. Zaban and M. Shalom, *Unpredicted electron injection in CdS/CdSe quantum dot sensitized ZrO₂ solar cells*, Physical Chemistry Chemical Physics, 13 (2011) 19302-19306.
 12. S. Nowy, W. Ren, A. Elschner, W. Lövenich and W. Brütting, *Impedance spectroscopy as a probe for the degradation of organic light-emitting diodes*, Journal of Applied Physics, 107 (2010)-054501-054509.
 13. C. H. Jonda, A. B. R. Mayer and U. Stolz, *Surface roughness effects and their influence on the degradation of organic light emitting devices*, Journal of Materials Science, 35 (2000) 5645-5651.
 14. G. B. Basim, J. J. Adler, U. Mahajan, R. K. Singh and B. M. Moudgil, *Effect of particle size of chemical mechanical polishing slurries for enhanced polishing with minimal defects*, Journal of The Electrochemical Society, 147 (2000) 3523-3528.
 15. Y. Seo, N. Kim, E. Chang, J. Park and G. Choi, *Removal characteristics of hillock on SnO₂ thin film by chemical mechanical polishing process*, Journal of Vacuum Science & Technology A, 23 (2005) 1133-1136.
 16. Y. Fukushi, H. Kominami, Y. Nakanishi and Y. Hatanaka, *Effect of ITO surface state to the aging characteristics of thin film OLED*, Applied Surface Science, 244 (2005) 537-540.
 17. A. Hossain, S. Okawa and O. Miyakawa, *Effect of toothbrushing on titanium surface: An approach to understanding surface properties of brushed titanium*, Dental Materials, 22 (2006) 346-352.
 18. S. P. Hilgenberg, S. C. S. Pinto, P. V. Farago, F. A. Santos and D. S. Wambier, *Physical-chemical characteristics of whitening toothpaste and evaluation of its*
- مراجع
1. V. A. Online, H. Kim, J. Youn and J. Jang, *Inverted quantum-dot light emitting diodes with cesium carbonate doped aluminium-zinc-oxide as the cathode buffer layer for high brightness*, Journal of Materials Chemistry C, 1 (2013) 3924-3930.
 2. P. De Bruyn, D. J. D. Moet and P. W. M. Blom, *A facile route to inverted polymer solar cells using a precursor based zinc oxide electron transport layer*, Organic Electronic, 11 (2010) 1419-1422.
 3. Q. Niu, Y. Xu, J. Jiang, J. P. A and Y. Cao, *Efficient polymer white-light-emitting diodes with a single-emission layer of fluorescent polymer blend*, Journal of Luminance, 126 (2007) 531-535.
 4. B. D. Kabra, L. P. Lu, M. H. Song, H. J. Snaith and R. H. Friend, *Efficient single-layer polymer light-emitting diodes*, Advanced Materials, 22 (2010) 3194-3198.
 5. L. Qian, Y. Zheng, K. R. Choudhury, D. Bera, F. So and J. Xue, *Electroluminescence from light-emitting polymer/ZnO nanoparticle heterojunctions at sub-bandgap voltages*, Nano Today, 5 (2010) 384-389.
 6. G. He, S. Chang, F. Chen, Y. Li and Y. Yang, *Highly efficient polymer light-emitting devices using a phosphorescent sensitizer*, Applied Physics Letter, 81 (2002) 1509-1511.
 7. J. H. Youn, S. J. Baek, H. P. Kim, D. H. Nam, Y. Lee and J. G. Lee, *Improving the lifetime of a polymer light-emitting diode by introducing solution processed tungsten oxide*, Journal of Materials Chemistry C, 1 (2013) 3250-3254.
 8. X. Jiang, F. L. Wong, M. K. Fung and S. T. Lee, *Aluminum-doped zinc oxide films as transparent conductive electrode for organic light-emitting devices for organic light-emitting devices*, Appl. Phys. Lett. 83 (2003) 1875-1877.
 9. M. Pazoki, N. Taghavinia, Y. Abdi, F. Tajabadi, G. Boschloo and A. Hagfeldt, *CVD-grown TiO₂ particles as light scattering structures in dye-sensitized*

- effects on enamel roughness*, Brazilian Oral Research, 25 (2011) 288–294.
19. N. Ghazyani, M. H. Majles Ara, F. Tajabadi, A. Dabirian, R. Mohammadpour and N. Taghavinia, *Dielectric core–shells with enhanced scattering efficiency as back-reflectors in dye sensitized solar cells*, RSC Advances, 4 (2014) 3621-3626.
 20. R. Swanepoel, *Determination of the thickness and optical constants of amorphous silicon*, Journal of Physics E: Scientific Instruments, 16 (1983) 1214-1222.
 21. M. Gracia, F. Rojas and G. Gordillo, *Morphological and optical characterization of SnO₂:F thin films deposited by spray pyrolysis*, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2005: p. 1874-1877.
 22. C. Wang, Q. Wu, H. L. Ge, T. Shang and J. Z. Jiang, *Magnetic stability of SnO₂ nanosheets*, Nanotechnology, 23 (2012) 075704-075710.
 23. K. Kim, Y. Tak, Y. Han, K. Baik, M. Yoon and M. Lee, *Relationship between surface roughness of indium tin oxide and leakage current of organic light-emitting diode*, Japanese Journal of Applied Physics, 42 (2003) 438-440.